

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2002年11月14日 (14.11.2002)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 02/091559 A1

- (51) 国際特許分類: H02P 6/18
(21) 国際出願番号: PCT/JP02/04487
(22) 国際出願日: 2002年5月8日 (08.05.2002)
(25) 国際出願の言語: 日本語
(26) 国際公開の言語: 日本語
(30) 優先権データ:
特願2001-138077 2001年5月9日 (09.05.2001) JP
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社日立製作所 (HITACHI, LTD.) [JP/JP]; 〒101-8010 東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地 Tokyo (JP).
(72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 坂本 潔 (SAKAMOTO, Kiyoshi) [JP/JP]; 〒319-1292 茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所日立研究所内 Ibaraki (JP). 岩路 善尚 (IWAJI, Yoshitaka) [JP/JP]; 〒319-1292 茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所日立研究所内 Ibaraki (JP). 遠藤 常博 (ENDO, Tsunehiro) [JP/JP]; 〒319-1292 茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所日立研究所内 Ibaraki (JP). 山田 憲昭 (YAMADA, Noriaki) [JP/JP]; 〒101-0041 東京都千代田区神田須田町一丁目2番2号 株式会社日立空調システム内 Tokyo (JP). 藤井 洋 (FUJII, Hiroshi) [JP/JP]; 〒275-0001 千葉県習志野市東習志野七丁目1番1号 株式会社日立ドライブシステムズ内 Chiba (JP).
(81) 指定国 (国内): JP, US.

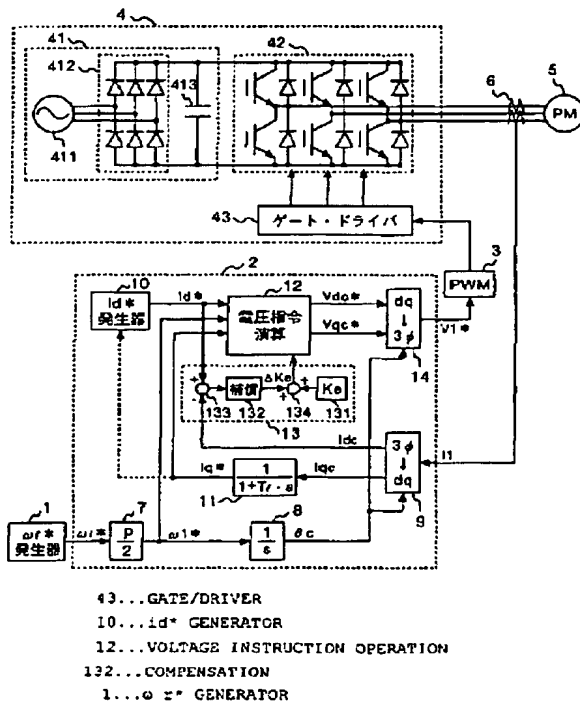
立市 大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所日立研究所内 Ibaraki (JP). 岩路 善尚 (IWAJI, Yoshitaka) [JP/JP]; 〒319-1292 茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所日立研究所内 Ibaraki (JP). 遠藤 常博 (ENDO, Tsunehiro) [JP/JP]; 〒319-1292 茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所日立研究所内 Ibaraki (JP). 山田 憲昭 (YAMADA, Noriaki) [JP/JP]; 〒101-0041 東京都千代田区神田須田町一丁目2番2号 株式会社日立空調システム内 Tokyo (JP). 藤井 洋 (FUJII, Hiroshi) [JP/JP]; 〒275-0001 千葉県習志野市東習志野七丁目1番1号 株式会社日立ドライブシステムズ内 Chiba (JP).

(74) 代理人: 小川 勝男 (OGAWA, Katsuo); 〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町二丁目9番8号 友泉茅場町ビル 日東国際特許事務所 Tokyo (JP).

[続葉有]

(54) Title: DRIVE SYSTEM OF SYNCHRONOUS MOTOR

(54) 発明の名称: 同期電動機の駆動システム



(57) Abstract: A control device for a synchronous motor is provided with a voltage instruction operator for operating voltage instructions V_{dc}^* , V_{qc}^* to the motor on coordinate axes dc-qc based on an estimation magnetic pole axis. The voltage instruction is operated by using a q-axis current instruction prepared based on a motor constant parameter, a revolution speed instruction, a d-axis current instruction and a current detection value. An induction voltage constant compensator is also provided that regulates the internal parameter of the motor's induction voltage constant so as to allow a d-axis current detection value to agree with a d-axis current instruction.

[続葉有]



(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:

— 国際調査報告書

(57) 要約:

本発明の同期電動機の制御装置は、推定磁極軸を基準とした座標軸 d $c-q$ 軸上で、電動機への電圧指令 V_{dc}^* 、 V_{qc}^* を演算する電圧指令演算器を備える。前記電圧指令は、電動機定数パラメータ、回転速度指令、 d 軸電流指令、および電流検出値に基づいて作成した q 軸電流指令を用いて演算する。また、 d 軸電流検出値を d 軸電流指令に一致するように、電動機の誘起電圧定数の内部パラメータを調整する誘起電圧定数補償器を備える。

明 細 書

同期電動機の駆動システム

技術分野

- 5 本発明は速度・位置を検出するセンサを用いずに、簡略化した制御構成によって高精度、高応答、高効率な駆動が可能な同期電動機の駆動システムに関する。

背景技術

- 10 磁極位置を検出することなく同期電動機を制御する手法は、大きく二種類に分類できる。一つは、同期電動機の速度・位置センサ付きベクトル制御に基づいた手法である。これは速度・位置センサを用いる代わりに、磁極位置推定器ならびに速度推定器を用いて制御を行う。なお、以後の説明では、この構成をベクトル制御型センサレス方式と呼ぶ。もう
- 15 一つは、同期電動機を開ループで制御するV/F制御である。

ベクトル制御型センサレス方式として、電気学会 半導体電力変換／産業電力電気応用 合同研究会資料、論文番号SPC-00-67/I EA-00-42（従来例1）に記載された技術がある。この技術では、磁極位置推定器は、電動機の印加電圧と電流から磁極位置を求めている。

- 20 速度推定器は、磁極位置の推定誤差をもとに速度を求めている。また、速度自動調整部と、電流自動調整部を備え、速度と電流が各々の指令値に一致するように制御している。

- V/F制御によるセンサレス方式として、特開2000-23669 4号公報（従来例2）に開示された技術がある。この技術は、速度指令
- 25 にほぼ比例した電圧を印加して同期電動機を駆動する。また、トルクや電流の振動を抑制し、負荷急変時の脱調を防止するために、電流検出値

から速度を補正する制御ループを備えている。ベクトル制御型センサレス方式と比べると、磁極軸の推定は行わず、速度や電流の自動調整部も持たない方式であるために、V/F制御の制御器構成は極めて単純化される。

- 5 V/F制御によるセンサレス方式の他の例として、三菱電機技報Vol. 73・No. 9・1999年、pp. 68-71（従来例3）に記載された技術がある。この技術では、磁極軸を基準とした座標軸上において、モータの印加電圧 V_d 、 V_q が、電流に比例する項、速度に比例する項、および安定化補償電圧項の和によって演算される。また、脱調
10 や乱調等を防ぐため、速度指令に速度安定化項を加算した値をもとに、電動機の印加電圧周波数を決めている。

- 従来例1のベクトル制御型センサレス方式の場合、速度制御器や電流制御器といった自動調整部が存在する。電動機の制御性能を引き出すには、自動調整部の制御ゲインを適切な値に設定しなければならないが、
15 現実システムではゲイン設計や調整が非常に難しい。この原因として、以下の2点があげられる。

- 第1に、ベクトル制御型センサレス方式は、速度制御器、電流制御器、磁極位置推定器、および速度推定器を組み合わせた手法であり、これらの制御要素が互いに干渉しやすい構成であることがあげられる。制御ゲ
20 インの設定によっては、負荷や速度が変動した際、過渡的な変化のあとに電流や周波数の振動が持続するといった不安定現象が生じやすい。

- 第2に、磁極位置推定器ならびに速度推定器は、電動機の定数変動や演算処理の遅れなどの影響があり、必ず推定誤差が存在することがあげられる。この推定誤差のため、制御器で推定した磁極軸の位置は実際の
25 磁極位置と等しくならず、両者の間には軸誤差 $\Delta\theta$ が生じる。軸誤差 $\Delta\theta$ がある場合、速度制御器や電流制御器といった自動調整部の制御ゲイ

ンは調整が難しくなる。また、調整せずに用いると十分な性能を出すことができなくなる。

- また、仮にゲイン設計や調整が良好になされた状態であっても、ベクトル制御型センサレス方式を用いて、電動機を高速回転で駆動するには、
- 5 自動調整部の演算を短いサンプル周期で実行しなければならず、基本的に高速演算処理が必要となる。このため、処理能力の低い普及型マイコンでは駆動システムを作れないという問題がある。

- 一方、従来例2のV/F制御の場合、ベクトル制御型センサレス方式のような自動調整部がないため、無調整で電動機を可変速制御できる。
- 10 しかしV/F制御は、電動機の磁極位置を推定して印加電圧の位相を決める方式ではないため、非常に早い速度応答が必要な用途や、トルク制御が必要な用途では十分な性能を出すことができない。また、V/F制御は基本的に電流調整機能を有しておらず、流れる電流は電動機を駆動するまでわからない。つまり、基本的に所定の電流値に制御することが
- 15 できない。このため、V/F制御では電動機を最も少ない電流で駆動するといった高効率運転制御ができず、駆動装置の省エネルギー化に向いていない。

- さらに、従来例3では、電流検出値を直接用いて電圧指令を演算しているため、電流振動が生じた際に制御系全体が不安定になりやすい。また、
- 20 制御系を安定化するための安定化補償電圧の作成方法、ならびに制御系の安定化原理が開示されていない。また、各種ゲインについても設計法が開示されていない。

- 本発明の目的は、従来のベクトル制御型センサレス方式に用いられている自動調整部を無くし、前述したベクトル制御型センサレス方式の諸
- 25 問題を解決する同期電動機の駆動システムを提供することにある。また本発明の目的は、前記のように自動調整部を無くして制御構成を単純化

しても従来のベクトル制御型センサレス方式と同等の性能を出すことができる電動機駆動システムを提供することである。

発明の開示

- 5 本発明では、制御要素間の相互干渉で制御系が不安定にならず、ゲイン設計が容易であり、かつ普及型マイコンでも処理可能とするために、従来のベクトル制御型センサレス方式で使われてきた速度制御器、および電流制御器を使用しない駆動システムになるよう留意した。しかし、自動調整部を無くし制御構成が単純化すれば、V/F制御と同様に応答
- 10 性が悪化し、電流を所定の値に制御できなくなる問題が生じる。

- そこで、本発明では、電動機電流が、負荷状態（即ち負荷トルク）と関係のある量であることに着目し、電動機内部の磁極軸を仮定したd c軸と直交するq c軸上において、電流検出値からq c軸上の電流検出値 I_{qc} を求め、 I_{qc} に基づいて電流指令値 I_{q*} を作成すれば、電流
- 15 指令 I_{q*} は実際の負荷トルクに応じた値になるため、応答性が改善されることを見いだした。

- 上記目的を達成する本発明は、同期電動機に対して、ベクトル制御と同様に、磁極軸を基準とした座標軸上（d c-q c軸上）で、電動機への印加電圧を演算する。その際、速度制御器や、電流制御器といった自動調整部を持たず、電圧指令演算には、回転速度指令、電流指令値を用
- 20 いる。ただし、トルク電流指令に相当する I_{q*} は、電動機の負荷状態により変化するため、電流検出値に基づいて演算して与えるようにする。

- さらに、電動機の実際の磁極軸であるd軸と前記d c軸との軸誤差に相当する状態量を演算する手段と、軸誤差を用いて回転子座標の位相を
- 25 修正する手段を備えることにより、制御系の安定性をより向上できる。

 また、本発明では、同期電動機の印加電圧の大きさを調整すれば負荷

角が変化し、電動機電流の大きさと位相が変わることに着目し、前記q c軸上の電圧指令値を調整すれば、電動機定数の設定誤差によって電流値と指令値との誤差を補正できることを見いだした。

本発明の同期電動機の駆動システムは、前記d c軸上の電流検出値 I_{dc} が、電流指令 I_d^* に一致するように、前記q c軸上の電圧指令に修正を加える手段を備えている。これによれば、d c軸の電流 I_{dc} を所定の値に制御できる。なお、前記q c軸上の電圧指令に修正を加えるのではなく、前記q c軸における電圧指令の演算に用いる定数を修正する手段を備えていてもよい。または、電動機の誘起電圧定数を修正する手段を備えていてもよい。電動機の誘起電圧定数を修正する場合は、速度急変時の過渡特性をさらに改善できる。さらに、前記q c軸上の電流指令 I_q^* 、あるいは、前記q c軸上の電流検出値 I_{qc} に基づいて、前記d c軸上の電流指令 I_d^* を発生する手段を備えることにより、同期電動機を最大効率で駆動できる。

15

図面の簡単な説明

第1図は実施例1の構成図である。

第2図は実施例1の同期電動機の駆動システムを実装した駆動装置の構造概略図である。

20

第3図は実施例1の電圧指令演算器の構成図である。

第4図は実施例2の制御装置の構成図である。

第5図は電動機内のd-q軸、ならびに制御装置内のd c-q c軸と、軸誤差 $\Delta\theta$ の関係を示すベクトル図である。

25

発明を実施するための最良の形態

以下本発明の詳細を第1図から第5図を参照して説明する。

(実施例 1)

第 1 図に本実施例の構成図を示す。第 1 図において、符号 1 は電動機の回転速度指令 ω_r^* を与える速度指令発生器、2 は電動機の印加電圧を演算する制御装置、3 は電圧指令 V_1^* に基づいて、インバータ 4 を
5 駆動するパルスを生成する PWM (パルス幅変調) 信号発生器、4 は電動機を駆動するインバータ、5 は制御対象である同期電動機、6 は電動機 5 の電流を検出する電流検出器である。

第 1 図の制御装置 2 について説明する。符号 7 は回転速度指令 ω_r^* を、電動機の電気角周波数指令 ω_1^* に変換する変換ゲイン、P は電動
10 機の極数、8 は ω_1^* に基づいて、制御装置内部の交流位相 θ_c を演算する積分器、9 は三相交流軸上の電流値を回転座標軸である $d-c-q-c$ 軸上の成分に変換する $d-q$ 座標変換器、10 は電動機の磁極軸成分の電流指令 I_d^* を与える I_d^* 発生器、11 は本発明の特徴部である I_q^* 発生器、12 は ω_1^* 、 I_d^* 、 I_q^* に基づいて、 $d-c-q-c$ 軸上
15 の電圧指令 V_{dc}^* 、 V_{qc}^* を演算する電圧指令演算器、13 は電動機の誘起電圧定数自動調整器、14 は $d-c-q-c$ 軸上の電圧指令 V_{dc}^* 、 V_{qc}^* を、三相交流軸上の値に変換する $d-q$ 逆変換器である。

次に、第 1 図のインバータ 4 について説明する。符号 41 はインバータ 4 の主回路電源を構成する直流電源部、42 はインバータの主回路部、
20 43 は主回路へのゲート信号を発生するゲート・ドライバ、411 はインバータ 4 に電力を供給する三相交流電源、412 は三相交流を整流するダイオード・ブリッジ、413 は直流電源に含まれる脈動成分を抑制する平滑コンデンサである。

第 2 図に、本実施例の構成概略図を示す。本発明による電動機駆動シ
25 ステムは、交流電源部、制御・インバータ部、電動機に分けられる。第 2 図に示すように、制御・インバータ部にある制御ボード上に、速度指

令発生器 1、制御装置 2、PWM（パルス幅変調）信号発生器 3 が備えられており、実際にはマイクロ・プロセッサをベースにしたデジタル回路で、上記機能を実現している。また、インバータ 4 の主回路部、電流検出部 6 も、一つの装置内に実装されている。

- 5 次に、第 1 図を用いて本実施例の動作原理を説明する。速度指令 ω_r^* に基づき、電動機の電気角周波数 ω_1^* が、変換ゲイン 7 の出力として得られる。積分器 8 では、 ω_1^* を積分して制御器内部の交流位相 θ_c が出力される。 θ_c に基づいて、三相交流電流の検出値は座標変換され、 d 軸成分である I_{dc} と、 q 軸成分である I_{qc} とが出力される。
- 10 I_{q^*} 発生器 11 では、 I_{qc} から高周波の振動分を除去する演算が行われ I_{q^*} が出力される。 I_{d^*} 発生器 10 では、同期電動機の種類や運転状態に応じた所定の I_{d^*} が演算される。誘起電圧定数自動調整器 13 では、 I_{d^*} と I_{dc} の差に基づいて、誘起電圧定数 (K_e) と定数調整分 (ΔK_e) の和が演算される。電圧指令演算器 12 では、
- 15 回転速度 ω_1^* 、電流指令 I_{d^*} 、 I_{q^*} 、および $(K_e + \Delta K_e)$ に基づいて、電動機 5 への印加電圧指令である V_{dc}^* 、および V_{qc}^* を演算する。なお、演算式は、

$$V_{dc}^* = R \cdot I_{d^*} - \omega_1^* L_q \cdot I_{q^*}$$

$$V_{qc}^* = \omega_1^* L_d \cdot I_{d^*} + R \cdot I_{q^*} + (K_e + \Delta K_e) \cdot \omega_1^* \quad \cdots (1)$$

- 20 である。式 (1) は、逆起電力項に用いる誘起電圧定数を $K_e + \Delta K_e$ の値に基づいて演算していること以外は、通常のベクトル制御で用いられる演算式と同じであって、例えば、文献「ACサーボシステムの理論と設計の実際：杉本英彦著、総合電子出版、p. 78、式 (4.6)」に演算式の記載がある。 V_{dc}^* 、ならびに V_{qc}^* は、 dq 逆変換器
- 25 14 で三相交流軸上の電圧指令値 V_1^* に座標変換される。PWM 信号発生器 3 では、電圧指令 V_1^* がパルス幅に変換される。ゲート・ドラ

イバは、このパルス信号に基づいてインバータの半導体スイッチング素子を駆動し、その結果、電動機5には V_{dc}^* 、 V_{qc}^* に相当する電圧が印加される。

第3図に、電圧指令演算器12の内部構成を示す。電圧指令演算器12では、式(1)に基づいて、電圧指令を演算する。第3図において、符号121は電動機の抵抗値(R)に相当するゲイン、122はd軸インダクタンス(L_d)に相当するゲイン、123はq軸インダクタンス(L_q)に相当するゲイン、124は乗算器、125は入力信号を加算(あるいは減算)する加算器である。

次に、各部の動作の詳細を説明する。第1図に示す I_d^* 発生器10は、同期電動機の種類や運転状態に応じて、所定の I_d^* を発生する信号発生器である。同期電動機の駆動効率は I_d^* の値によって変化するため、最大の効率で駆動するには I_d^* 発生器10の設計が重要になる。例えば、電動機の回転子構造が非突極型の場合、 $I_d^*=0$ とすれば、最大トルクとなる状態で電動機を駆動でき、最大効率で運転が行える。

一方、永久磁石型同期電動機には、永久磁石によるトルクと、電動機の突極性によるリラクタンストルクを組み合わせ、電動機トルクを発生するものがある。この種の電動機(以下、リラクタンストルク応用同期電動機と呼ぶ)の場合、 I_d をマイナスの値にした側に電動機の最大トルク点がある。最大効率で電動機を駆動するためには、常に最大トルクとなる状態で電動機を駆動するとよいので、リラクタンストルク応用同期電動機の場合、 I_d^* 発生器10は I_d^* としてマイナス側の所定値を出力する。

なお、リラクタンストルク応用同期電動機の最大トルクを得る条件は、文献「『PMモータの制御法と回転子構造による特性比較』、電気学会論文誌D、平成6年、114巻6号、pp. 662-667」に記載が

ある。この文献に従うと、最大トルクを得る条件は式（２）で表される。

$$I_d = \frac{\Phi_m}{2(L_q - L_d)} - \sqrt{\frac{\Phi_m^2}{4(L_q - L_d)^2} + I_q^2} \quad \dots \cdot (2)$$

ただし、 Φ_m : 永久磁石磁束, $L_d \neq L_q$

式（２）より、最大トルクを得る I_d の大きさは、 I_q が定まれば演算できる。なお、式（２）の演算に用いる I_q の値は、本実施例では I_{qc} に相当する。しかし、負荷急変時の過渡状態では I_{qc} の変動が激しいので、この I_{qc} を用いると制御系全体が不安定化する恐れがある。そこで、 I_d^* 発生器 10 では I_q^* を用いて式（２）の演算処理を実行する。

ここで、 I_{qc} から過渡状態で生じた高周波振動成分を除去した量が I_q^* である。従って、 I_q^* に基づいて I_d^* を求めると、最大トルクでの運転は定常状態で実現されることになる。なお、電動機が駆動されている時間の大部分は定常状態であり、この定常状態において、最大トルクで駆動できればよいから、本実施例でも効率最大化に関して問題はない。以上より、リラクタンストルク応用同期電動機に対しても、常に最大トルクで駆動でき、最大効率で駆動できる。

次に、第 1 図に示す I_q^* 発生器 11 について説明する。電圧指令演算器 12 に与える指令値の中で、 ω_1^* 、 I_d^* は、電動機の負荷状態に無関係な値にできるが、 I_q^* は、電動機の必要としているトルクに応じた値にする必要がある。 I_q^* と、実際のトルク負荷とに差異が生じると、電動機の磁極軸と制御軸とが一致せず、不安定やトルク不足の原因になる。本実施例では、 I_q^* 発生器 11 が、電流検出値 I_{qc} を用いて電流指令 I_q^* を作成する。ただし、 I_{qc} を直接 I_q^* として用いると、 I_{qc} の高周波成分が正帰還ループを作るため電流や周波数

が振動しやすくなるから、次式に従って I_{q*} を演算する。

$$I_{q*} = \frac{1}{1 + T_r \cdot s} \cdot I_{qc} \quad \dots \dots (3)$$

ここで、 T_r : 時定数、 s : ラプラス演算子

式 (3) は一次遅れフィルタであるが、これ以外にも移動平均値などの手段を用いてもよい。 I_{qc} から高周波成分を除去した量を I_{q*} として、制御系が不安定になることを抑制できる。また、定常的には I_{qc} の直流成分と I_{q*} は一致するから、 I_{q*} 発生器 11 は電動機の負荷状態に応じた I_{q*} を与えることができる。

次に、第 1 図に示す誘起電圧定数自動調整器 13 について説明する。式 (1) ならびに第 3 図に示すように、電圧指令演算器 12 では、電動機の定数である R 、 L_d 、 L_q 、 K_e に基づいて電圧指令を演算する。これらの電動機定数が正確であれば、電動機は指令値通りの回転速度、電流値で駆動される。しかし、実際の電動機定数には誤差を含むので、与えられた指令値での駆動に必要な電圧と比べると、演算された電圧指令の大きさは異なるのが普通である。このため、電動機は指令値とずれて駆動される。

一般に同期電動機では、電動機の回転数は、指令値に必ず一致するように制御できる。一方、電動機の電流は、印加電圧の大きさが変われば同期電動機の負荷角が変わるため、電流の位相と大きさは、ともに変化する。従って、電動機定数に誤差があると、指令値通りの電流値で駆動できない。

上記問題を解決するため、本発明では誘起電圧定数自動調整器 13 によって、電動機定数の誤差を補正し、電流が指令値通りになるように制御する。誘起電圧定数自動調整器 13 は、誘起電圧定数を調整するため、結果的に q 軸電圧指令 V_{qc*} が変化することになる。よって、式 (1) からわかるように、誘起電圧定数自動調整器 13 で補正が可能な

電気定数は K_e のみならず、 L_d および R も含まれる。

なお、公知の技術には、駆動システムの据え付け後の調整段階に、特殊な条件で電動機を駆動して電動機定数の同定を行う「オートチューニング制御」と呼ばれる技術があるが、本実施例の誘起電圧定数自動調整器13は、システムが同期電動機を駆動している時、常に動作させており、基本的に異なる。

誘起電圧定数自動調整器13の内部を、第1図を用いて説明する。誘起電圧定数信号発生器131では、誘起電圧定数 K_e が出力される。一方、 d 軸電流指令値 I_d^* と検出電流 I_{dc} の差は、加算器133によって演算される。誘起電圧定数補償器132では、前記加算器133の出力値に基づいて、その値が零になるように誘起電圧定数調整分 ΔK_e が演算される。 K_e と ΔK_e の和は、加算器134によって演算される。電圧指令演算器12では、加算器134が出力する $K_e + \Delta K_e$ の値に基づいて、電圧指令が演算される。

誘起電圧定数補償器132の演算式として、比例積分補償器演算を用いる例を式(4)に示す。

$$\Delta K_e = K_{pe}(I_d^* - I_{dc}) + K_{ie} \int (I_d^* - I_{dc}) dt \quad \dots (4)$$

なお、誘起電圧定数補償器132は定数誤差分を保持する機能があればよく、式(4)において $K_{pe} = 0$ として積分補償器のみの演算にしてもよい。式(4)からわかるように、誘起電圧定数自動調整器13の構成は、電流 I_{dc} についての電流制御器として見ることができる。しかし、従来技術のベクトル制御型センサレス方式の電流自動調整部が、 I_{dc} を制御するために V_{dc}^* を調整していることに対し、本実施例では I_{dc} を制御するために誘起電圧定数 K_e を変化させている。

本実施例では、誘起電圧定数自動調整器13を備えているので以下のメリットがある。

(1) 従来方式の電流自動調整では、補償電圧を電圧指令に加算する構成であるため、速度指令が急変した際に補償電圧が即座に変化しない問題がある。一方、誘起電圧定数自動調整器 13 は、誘起電圧定数を調整するため、補償電圧は $\Delta K_e \cdot \omega_1^*$ で表される。従って、速度指令 ω_1^* が急変した際に、補償電圧も即時に変化するため、制御系全体の安定性や応答性能が改善される。

(2) 誘起電圧定数補償器 132 は電動機定数誤差の修正が目的であり、 I_{dc} を I_d^* へ追従させる応答速度は遅くできるので、電流や周波数の振動が持続するといった不安定現象の発生を抑制できる。

10 (3) 電動機の d 軸と q 軸の間には干渉項があり、 ω_1 が大きくなるほど、d-q 軸間の干渉が強くなる。よって、過渡時には、d、q 軸間での振動が生じやすくなる。 I_q^* は、 I_{qc} に大きなフィルタを介しているため、この振動を抑制する能力はない。しかし、誘起電圧定数自動調整器 13 を付加すると、 I_{dc} を I_d^* (一定値) に一致させようとするため、d-q 軸間の干渉項を抑制するので、制御系全体の安定性や
15 応答性能が改善される。

(4) 前述のように、誘起電圧定数自動調整器 13 は、最終的に q c 軸電圧指令 V_{qc}^* を調整する。q c 軸電圧指令 V_{qc}^* を調整するので、制御系を構成する補償器どうしの相互干渉を小さくでき、安定な制
20 御系を実現できる。

なお、q c 軸電圧指令 V_{qc}^* を増減させる方法は、誘起電圧定数 K_e を調整する以外にも、例えば、他の電気定数 L_d 、あるいは R を調整してもよい。特に、電動機の場合、配線の引きまわしや、インバータの抵抗分等により、抵抗値に誤差を含むことがある。この場合、停止時や
25 低速時では、誘起電圧定数でなく抵抗定数 R を調整するほうが、制御系全体の安定性や応答性能が改善される。

(実施例2)

- 第4図を用いて本実施例を説明する。第4図は、制御装置2Bの構成を示したものであり、本制御装置を、第1図における制御装置2の代わりに用いる。第4図において、符号7～14は、第1図の同一番号のものと同じである。符号15は電動機のd-q軸と、制御軸dc-qc軸との軸誤差を推定演算する軸誤差推定器、16は軸誤差に零指令を与える零発生器、17は入力信号を加算（あるいは減算）する加算器、18は軸誤差を用いて、電気角周波数指令 $\omega 1^*$ への修正量を演算する磁極軸推定ゲインである。
- 10 次に、本実施例の動作原理を説明する。第1図の制御装置2に、符号15～18を加えたものが、本実施例である。軸誤差推定器15では、d-q軸とdc-qc軸の誤差分 $\Delta\theta$ を推定演算する。ここでは、軸誤差 $\Delta\theta$ を、第5図に示すように、d-q軸から観測したdc-qc軸の誤差成分と定義する。軸誤差 $\Delta\theta$ の推定値 $\Delta\theta_c$ の演算には、いくつか
- 15 の手法が考えられるが、例えば従来例1の演算式を式(5)に示す。

$$\Delta\theta_c = \tan^{-1} \frac{V_{dc}^* - R \cdot Idc + \omega 1 \cdot Lq \cdot Iqc}{V_{qc}^* - R \cdot Iqc - \omega 1 \cdot Lq \cdot Idc} \quad \dots (5)$$

- 式(5)は、電動機定数、ならびに電動機への印加電圧指令、電流検出値(dc-qc軸上での観測値)に基づいて、直接 $\Delta\theta$ を推定演算する。なお、式(5)は突極型の電動機の電気定数を用いた場合の演算式
- 20 である。

- 軸誤差 $\Delta\theta_c$ が正である場合、第5図に示す関係より、制御軸dc-qc軸が、d-q軸よりも回転方向に進んでいるので、電気角周波数 $\omega 1^*$ を減少するように補正量 $\Delta\omega 1$ (この場合は、 $\Delta\omega 1 < 0$)を加え、 $\Delta\theta$ を減少させる。逆に、 $\Delta\theta_c$ が負の場合は、 $\omega 1^*$ を増加するように
- 25 に補正量 $\Delta\omega 1$ を加える。これらの動作によりPLL動作を実現してい

るのが、第4図における符号15～18で示すブロックである。磁極軸推定ゲイン18は、 $\Delta\theta_c$ の収束時間を決定する係数であり、基本的には比例ゲインでよいが、比例・積分、あるいは微分要素等を組み合わせてもよい。

- 5 本実施例の制御装置では、負荷変動等によって軸誤差が発生した場合にも、設定応答時間内に $\Delta\theta_c$ を零に収束させることができる。また、本実施例では、磁極軸推定ゲインを調整すれば、制御系を不安定にすることなく外乱応答を改善できる。本実施例では、速度指令への追従性も改善される。これは、PLL動作により、 $\Delta\theta$ が高応答で零になるよう
- 10 に制御されるため、磁極軸推定ゲイン18の出力 $\Delta\omega_1$ も零になり、電動機の駆動周波数は瞬時に ω_1^* に一致するためである。

- なお、軸誤差推定器15は、電圧指令値を用いて軸誤差推定値 $\Delta\theta_c$ を演算する。このため、誘起電圧定数自動調整器13が動作し、その結果 q_c 軸電圧指令 $V_{q_c}^*$ が変化すると、 $\Delta\theta_c$ の演算値は影響を受けることになる。ところが、式(5)からわかるように、 $V_{q_c}^*$ が変化
- 15 して影響を受けるのは、逆正接関数内の分母であり、この分母の値は、ほぼ電動機の逆起電力の大きさになることから、 $V_{q_c}^*$ が調整されたとしても、分母の値は大きく変化しないと考えられる。従って、 $\Delta\theta_c$ の演算値が受ける影響は非常に小さい。これより、誘起電圧定数自動調整器13は、最終的に q_c 軸電圧指令 $V_{q_c}^*$ を調整させているが、こ
- 20 れは制御系を構成する補償器どうしの相互干渉を小さくし、安定な制御系を実現している。

- なお、実施例として、軸誤差推定器15において軸誤差 $\Delta\theta$ を推定し、PLL制御系を構成する手法を述べたが、軸誤差 $\Delta\theta$ 相当の他状態量を
- 25 求めるセンサレス方式にも、本実施例は適用できる。例えば、式(5)の逆正接関数内部の分子だけを演算して求め、その値に基づいて ω_1^*

の修正を行っても、原理的に問題ない。その他、磁極位置の推定方法として、高調波信号を注入して磁極位置推定を行う手法も提案されているが、それらに対しても本発明は適用できる。

以上、本実施例によれば、制御系の安定性、および速度応答特性をより向上させることができる。

産業上の利用可能性

以上述べたように本発明の同期電動機の駆動システムは、あらゆる産業分野で駆動用原動機として用いられる同期電動機を制御するために広く利用できる。

請 求 の 範 囲

1. 同期電動機と、前記電動機に任意の交流を印加するインバータと、前記電動機に流れる電流を検出する手段と、前記電動機に対して回転数指令を与える手段と、前記回転数指令に基づいて、前記電動機の交流位相を演算する手段と、前記電動機内部の磁極軸を仮定したd c軸と、前記d c軸に直交する軸であるq c軸上の電流指令 I_d^* 、ならびに I_q^* を与える手段と、前記電流指令と前記回転数指令に基づいて、前記d c-q c軸上の電圧指令の演算を行う手段と、前記電圧指令に基づいて、前記インバータに制御信号を送る手段を備え、前記電動機を制御する同期電動機の駆動システムにおいて、

前記q c軸成分の電流指令 I_q^* を与える手段は、前記電動機の電流検出値から得られるq c軸上の電流検出値 I_{qc} に基づいて、前記 I_q^* を演算することを特徴とする同期電動機の駆動システム。

2. 請求の範囲第1項に記載の同期電動機の駆動システムにおいて、前記電動機の実際の磁極軸であるd軸と、前記d c軸との軸誤差に相当する状態量を演算する手段と、前記状態量を用いて前記交流位相を修正する手段を備えていることを特徴とする同期電動機の駆動システム。

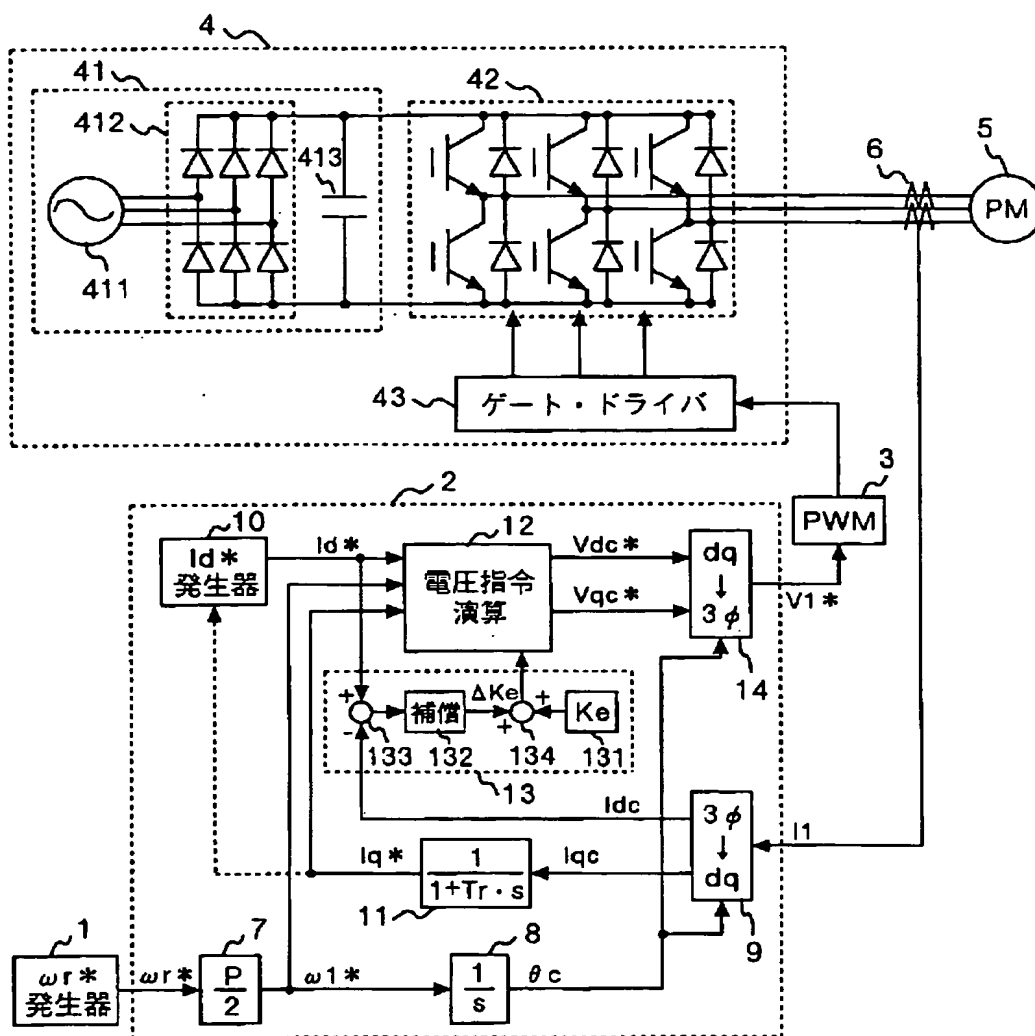
3. 請求の範囲請求項1または第2項の何れかに記載の同期電動機の駆動システムにおいて、前記d c軸上の電流検出値 I_{dc} が、前記d c軸上の電流指令 I_d^* に一致するように、前記q c軸上の電圧指令に修正を加える手段を備えていることを特徴とする同期電動機の駆動システム。

4. 請求の範囲第1項、第2項または第3項の何れかに記載の同期電動機の駆動システムにおいて、前記d c軸上の電流検出値 I_{dc} が、前記d c軸上の電流指令 I_d^* に一致するように、前記q c軸における電圧指令の演算に用いる定数を修正する手段を備えていることを特徴とする同期電動機の駆動システム。

5. 請求の範囲第4項に記載の同期電動機の駆動システムにおいて、前記d c軸上の電流検出値 I_{dc} が、前記d c軸上の電流指令 I_{d*} に一致するように、電動機の誘起電圧定数を修正する手段を備えていることを特徴とする同期電動機の駆動システム。
- 5 6. 請求の範囲第1項から第5項の何れかに記載の同期電動機の駆動システムにおいて、前記q c軸上の電流指令 I_{q*} 、あるいは、前記q c軸上の電流検出値 I_{qc} に基づいて、前記d c軸上の電流指令 I_{d*} を発生する手段を備えていることを特徴とする同期電動機の駆動システム。

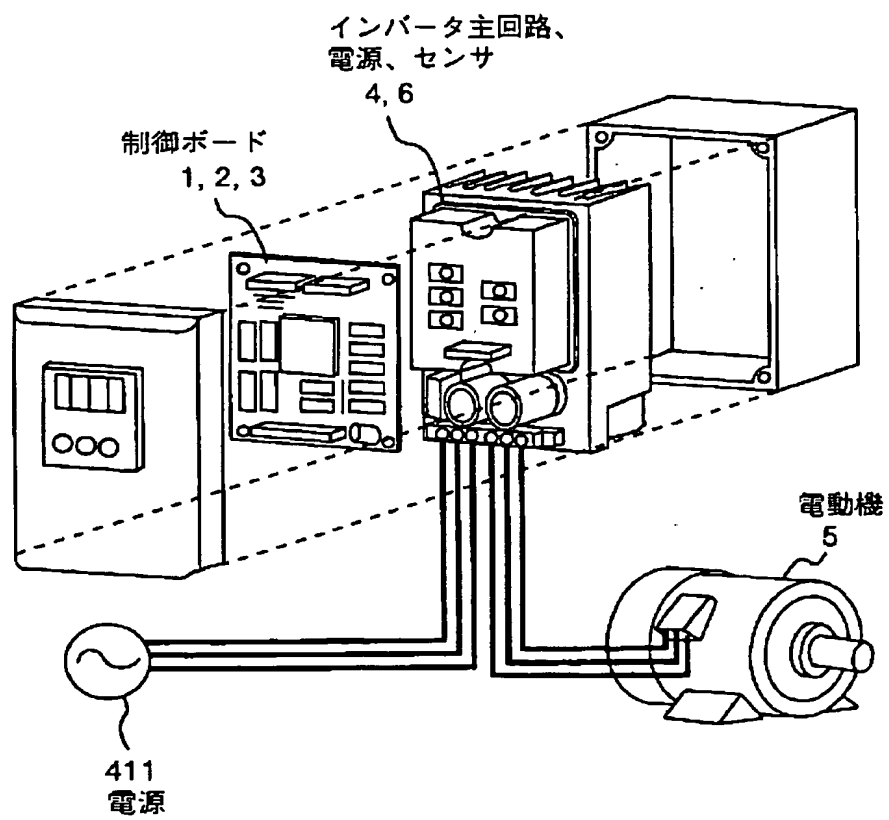
1/5

第1図



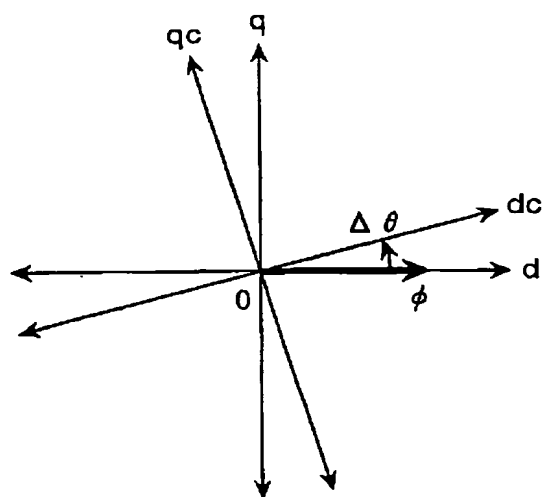
2/5

第2図



5/5

第 5 図



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/04487

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ H02P6/18

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁷ H02P6/00-6/24, H02P21/00Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2002
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2002 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2002

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
E, X	JP 2002-199776 A (Honda Motor Co., Ltd.), 12 July, 2002 (12.07.02), Page 13, left column, line 18 to page 15, left column, line 19 (Family: none)	1-6
P, X	JP 2001-268974 A (Fuji Electric Co., Ltd.), 29 September, 2001 (28.09.01), Page 5, left column, lines 4 to 48 (Family: none)	1-6

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
13 August, 2002 (13.08.02)Date of mailing of the international search report
27 August, 2002 (27.08.02)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/04487

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 944164 A1 (Kabushiki Kaisha Yasukawa Denki), 22 September, 1999 (22.09.99), Fig. 2 & JP 10-174499 A Fig. 2 & WO 98/25335 A1 & TW 352486 A & CN 1240064 A & US 6081093 A & KR 2000057380 A	1-6

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
Int. Cl. H02P6/18

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))
Int. Cl. H02P6/00-6/24
H02P21/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2002年
日本国実用新案登録公報	1996-2002年
日本国登録実用新案公報	1994-2002年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
EX	JP 2002-199776 A (本田技研工業株式会社), 2002.07.12, 第13頁左欄第18行-第15頁左欄第19行 (ファミリーなし)	1-6
PX	JP 2001-268974 A (富士電機株式会社), 2001.09.28, 第5頁左欄第4-48行 (ファミリーなし)	1-6

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

13.08.02

国際調査報告の発送日

27.08.02

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

牧 初

3V

9064

電話番号 03-3581-1101 内線 3358

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	EP 944164 A1 (KABUSHIKI KAISHA YASUKAWA DENKI), 1999. 09. 22, Fig. 2 &JP 10-174499 A, 図2 &WO 98/25335 A1&TW 352486 A &CN 1240064 A&US 6081093 A &KR 2000057380 A	1-6